

## ОСОБЕННОСТИ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ УРОВНЕМ КИПЯЩЕГО СЛОЯ ТВЕРДОТОПЛИВНОГО КОТЛА ТЭС

**Кострикова Г.В., студ.; Федюн Р.В., доц., к.т.н., доц.**

*(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)*

При рассмотрении перспектив использования твердого топлива, в частности для энергоблоков нового поколения, одним из основных вопросов является его эффективное сжигание. Под последним в первую очередь понимается выполнение двух требований: сжигание должно быть полным, т.е. экономичным, и оно не должно приводить к большим выбросам вредных веществ (в первую очередь оксидов серы и азота).

Долгое время для сжигания использовался и продолжает использоваться так называемый факельный метод, при котором смесь мелкоразмолотого угля и горячего воздуха непрерывно подается в зону горения, поддерживая горящий факел, являющийся источником лучистой и тепловой энергии для нагрева рабочего тела. Для выполнения указанных выше требований разработан и внедрен в практику целый ряд режимных и конструктивных мероприятий, которые, тем не менее, не могут решить проблему в полной мере. Поэтому последние 25 лет ведутся поиски экологически чистых технологий сжигания широкой гаммы твердых топлив, особенно энергетических твердых топлив низкого качества. В числе таких технологий находится технология сжигания твердых топлив в циркулирующем кипящем слое (ЦКС) при атмосферном давлении [1,2].

Сжигание топлива в высокотемпературных топках приводит к образованию большого количества оксида азота  $\text{NO}_2$ . Это очень токсичный газ бурого цвета с удушливым запахом. Снижение температуры в топке ниже  $1000^\circ\text{C}$  приводит к значительному уменьшению образования оксида азота  $\text{NO}_2$ . Этого можно достичь различными способами, но наиболее перспективным, экономичным и экологичным является сжигание твердого топлива (каменного и бурого угля, сланца, древесных отходов и т.д.) в кипящем (псевдоожиженном) слое.

Имеется целый ряд схем, реализующих технологию ЦКС, одна из них приведена на рис 1. [1,3]. На рис.1 римскими цифрами показано движение материальных потоков: I – подача в топку горячего воздуха; II – выпуск сернистой золы; III – смесь из продуктов сгорания IV и несгоревших частиц топлива V.

Уголь из бункера 2 подается на воздухораспределительную решетку топки 10, в нижнюю часть которой для горения подается первичный воздух. Так же из бункера 1 на воздухораспределительную решетку топки поступает известняк, превращающий серу в гипс  $\text{CaSO}_4$ , который вместе с золой выводится из котла в твердом виде. Это позволяет исключить попадание серы в дымовые газы, а значит затем и в воздушное пространство. Возникающий кипящий слой передает часть своей теплоты рабочему телу, движущемуся в экранах, которыми облицованы стены топки. Из верхней части топки смесь продуктов сгорания и несгоревших частиц топлива, направляется в циклон 4, где происходит отделение несгоревших частиц топлива от продуктов сгорания. Несгоревшие горячие частицы смешиваются с частицами свежего топлива, и затем эта смесь попадает в кипящий слой топки. Продукты сгорания поступают в конвективную шахту 5, в которой расположены другие поверхности нагрева 6 рабочего тела: конвективный первичный и промежуточный пароперегреватели, экономайзер, воздухонагреватель. На выходе из конвективной шахты продукты сгорания очищаются от летучей золы, и затем они поступают в электрофильтры 7 для тонкой очистки дымовых газов от летучей золы, после чего они направляются в дымовую трубу 8 для рассеивания в верхних слоях атмосферы [1,2].

Основная идея, которая реализуется в котлах с ЦКС, состоит в том, что температура кипящего слоя оказывается не очень высокой (по сравнению с факельными пылеугольными

топками) – на уровне 820 – 900°C. При таких температурах появление оксидов азота идет достаточно медленно. В свою очередь, невысокая температура сгорания обеспечивается большим размером частиц угля (от 2 до 25 мм) и их разобщенностью в кипящем слое, в отличие от пылеугольного сжигания, когда размер пылевых частиц находится на уровне 200 мкм [4,5].

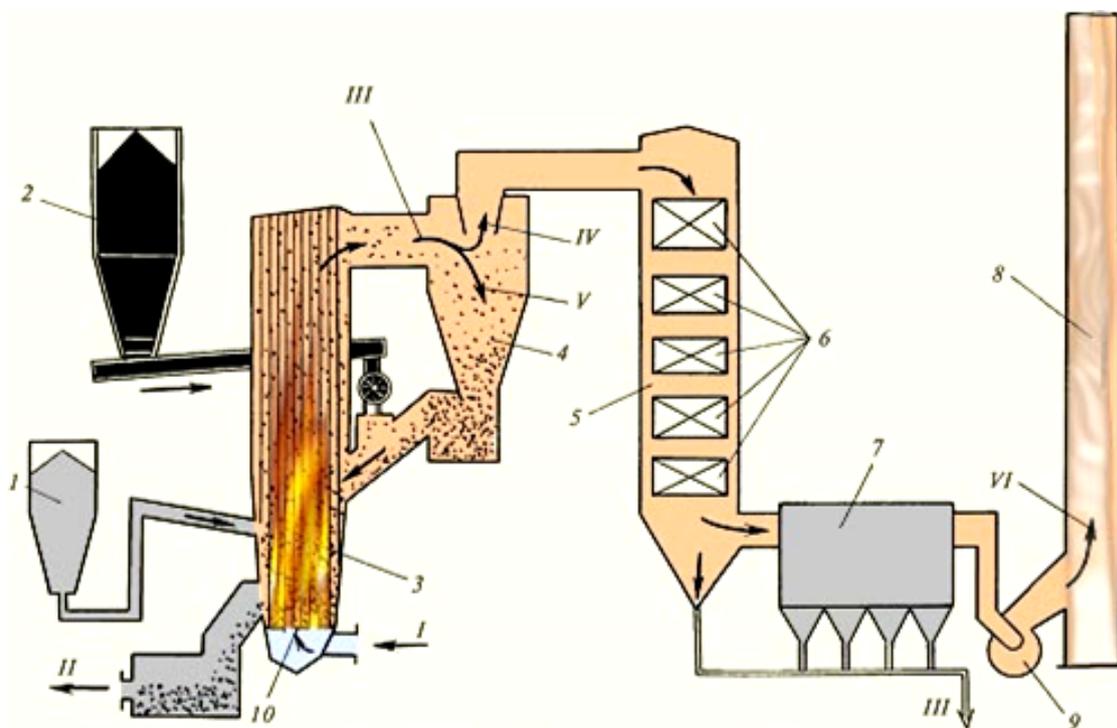


Рисунок 1 – Схема котла с циркулирующим кипящим слоем

Другая важная идея — постоянная циркуляция горячей смеси золы, известняка и достаточно небольшого объема подводимого свежего топлива. Это обеспечивает не только хорошую сероочистку продуктов сгорания, но и существенно интенсифицирует процесс сжигания [2,3].

При необходимости снижения нагрузки, требуется одновременно снижать расход топлива (угля) и первичного воздуха для поддержания экономичной работы топки во всем диапазоне управления. Вместе с этим изменением нагрузки в той же пропорции должен уменьшаться тепловой поток к погруженным трубам. За счет изменения температуры кипящего слоя можно достичь только относительно небольшого снижения нагрузки. Более широкий диапазон управления возможен при делении слоя на несколько участков, которые в зависимости от требуемой нагрузки могут быть во взвешенном или неподвижном состояниях. При использовании этого метода управления количество инертного материала в кипящем слое не изменяется. Недостаток данного метода состоит в том, что динамический отклик зависит от теплоемкости слоя и, соответственно, будет существенно инерционным.

Метод управления нагрузкой, основанный на использовании взаимосвязи между степенью расширения кипящего слоя и скоростью оживления для изменения высоты слоя и, таким образом, погруженной величины тепловоспринимающей поверхности, обеспечивает возможность получения широкого диапазона управления нагрузкой с коротким переходным процессом, так как тепловой поток к погруженным трубам примерно в 4 раза превышает тепловой поток к трубам, находящимся над кипящим слоем. При управлении нагрузкой изменением высоты (уровня) кипящего слоя, охлаждаемые трубы размещаются таким образом, чтобы их контакт с кипящим слоем постепенно увеличивался по мере изменения скорости оживающего воздуха и чтобы тепловосприятие их было согласовано с изменением нагрузки. Так как температура в слое не изменяется, длительность переходного процесса небольшая (скорость изменения нагрузки 10% в 1 мин). Данный способ используется в большинстве котлов с топками кипящего слоя.

Таким образом, для изменения тепловой мощности котла в соответствии с нагрузкой энергосистемы необходимо изменять уровень кипящего слоя за счет управления расходом топлива и расходом первичного воздуха. Кроме того, для качественного удаления серы из отходящих газов необходимо регулировать количество подаваемого в топку известняка в зависимости от изменения количества подаваемого в топку топлива.

Рассмотренные выше особенности технологии циркулирующего кипящего слоя и анализ ее технической реализации в рассматриваемом котле позволили сформировать схему материальных потоков котла ЦКС и их информационных переменных, которая приведена на рис.2.

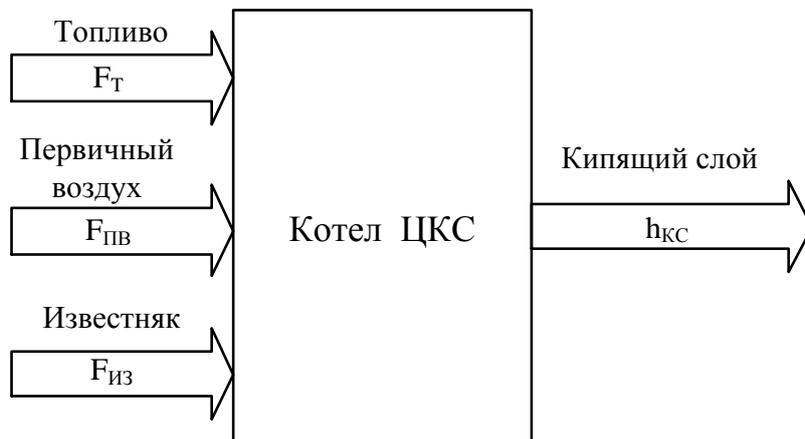


Рисунок 2 – Схема материальных потоков котла ЦКС

Основная физическая величина (информационная переменная) которая характеризует работу котлов с топкой кипящего слоя - это высота уровня кипящего слоя  $h_{КС}$  (рис.2).

Входными материальными потоками, позволяющими требуемым образом воздействовать на выходной материальный поток, являются топливо, первичный воздух и известняк, которые характеризуются соответствующими информационными переменными – расход топлива  $F_T$ , расход первичного воздуха  $F_{ПВ}$ , расход известняка  $F_{ИЗ}$  (рис.2).

С учетом проведенного выше анализа материальных потоков котла с топкой кипящего слоя, получена схема основных каналов управления и возмущения в рассматриваемом объекте – котле ЦКС, которая приведена на рисунке 3.

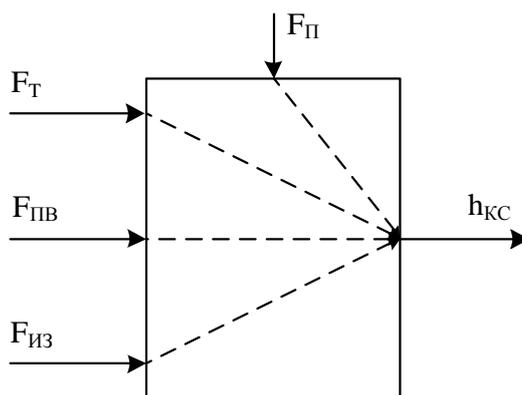


Рисунок 3 – Схема взаимодействия переменных в котле ЦКС

Возмущающее воздействие для рассматриваемого объекта – изменение электрической нагрузки на энергоблок электростанции, которое для котла проявляется в соответствующем изменении расхода пара  $F_{П}$ , потребляемого турбиной (рис.3).

Наиболее часто применяемым принципом построения систем автоматического управления в настоящее время является принцип обратной связи (или принцип управления по отклонению). Поэтому и реализация разрабатываемой САУ котлом с топкой ЦКС предлагается по принципу обратной связи по основной управляемой переменной – уровню

кипящего слоя  $h_{КС}$  (внешний, основной контур управления) и по дополнительным переменным (внутренние контуры управления) – расходу топлива  $F_T$  и расходу первичного воздуха  $F_{ПВ}$  (рис.4).

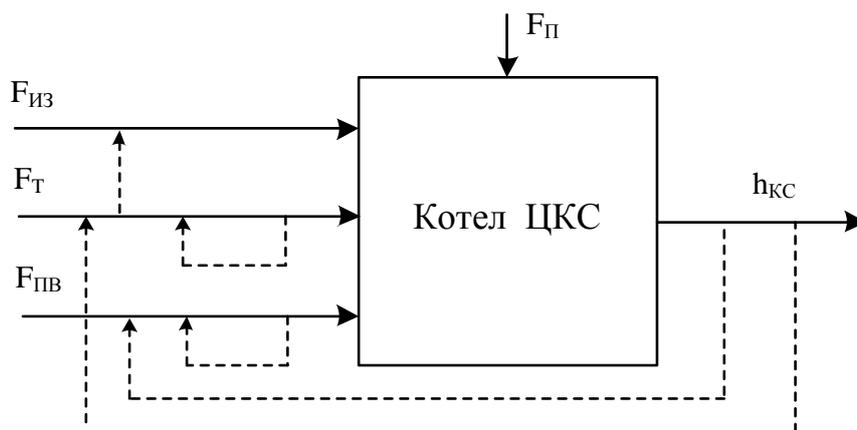


Рисунок 4 – Структурная схема концепции построения САУ

Исходя из предложенной концепции разработки САУ (рис.4) поддержание требуемого уровня кипящего слоя  $h_{КС}$  осуществляется за счет соответствующих изменений расхода топлива  $F_T$  и расхода первичного воздуха  $F_{ПВ}$ .

Для более точного и качественного управления уровнем кипящего слоя, согласно предложенной концепции реализации САУ (рис.4), применяются внутренние контуры управления расходом топлива и расходом первичного воздуха.

Управление расходом известняка, подаваемого в топку котла, осуществляется исходя из того, что расход известняка подается в строгом соответствии с расходом топлива (рис.4).

Применение предложенной концепции разработки САУ котлом с топкой ЦКС позволяет повысить показатели качества управления рассматриваемыми технологическими параметрами – уровнем кипящего слоя, расходом топлива, расходом первичного воздуха, расходом известняка, что, в свою очередь, позволит исключить перерасход топлива, известняка и электроэнергии на собственные нужды котла.

Вышеизложенное позволяет разработать схему автоматического управления уровнем кипящего слоя, которая приведена на рисунке 5.

Во внутреннем контуре управления расходом топлива объектом управления является ленточный питатель П1. Данный контур управления состоит из следующих элементов: датчика расхода топлива ДТ, регулятора расхода топлива РТ, преобразователя частоты ПЧ1, приводного электродвигателя питателя топлива М. Необходимое значение расхода топлива устанавливается в зависимости от требуемого уровня кипящего слоя и задается регулятором уровня РУ.

Внутренний контур управления расходом воздуха предназначен для изменения количества подаваемого в топку первичного воздуха, которое определяется по требуемому уровню кипящего слоя. В состав данного контура включены следующие элементы: датчик расхода первичного воздуха ДВ, регулятор расхода первичного воздуха РВ, преобразователь частоты ПЧ3, приводной электродвигатель воздуходувки М. Необходимое значение расхода первичного воздуха устанавливается в зависимости от необходимого уровня кипящего слоя и задается регулятором уровня РУ.

Контур управления расходом известняка предназначен для изменения количества подаваемого в топку известняка, которое в каждый момент времени должно соответствовать текущему расходу топлива, подаваемого в топку котла. Данный контур управления состоит из следующих элементов: датчика расхода известняка ДИ, регулятора расхода известняка РИ, преобразователя частоты ПЧ2, приводного электродвигателя питателя известняка М. Требуемое значение расхода известняка определяется в зависимости от текущего значения расхода топлива и задается от датчика расхода топлива.

Внешний контур управления уровнем кипящего слоя предназначен для изменения уровня кипящего слоя в топке в зависимости от требуемой нагрузки на энергоблок.

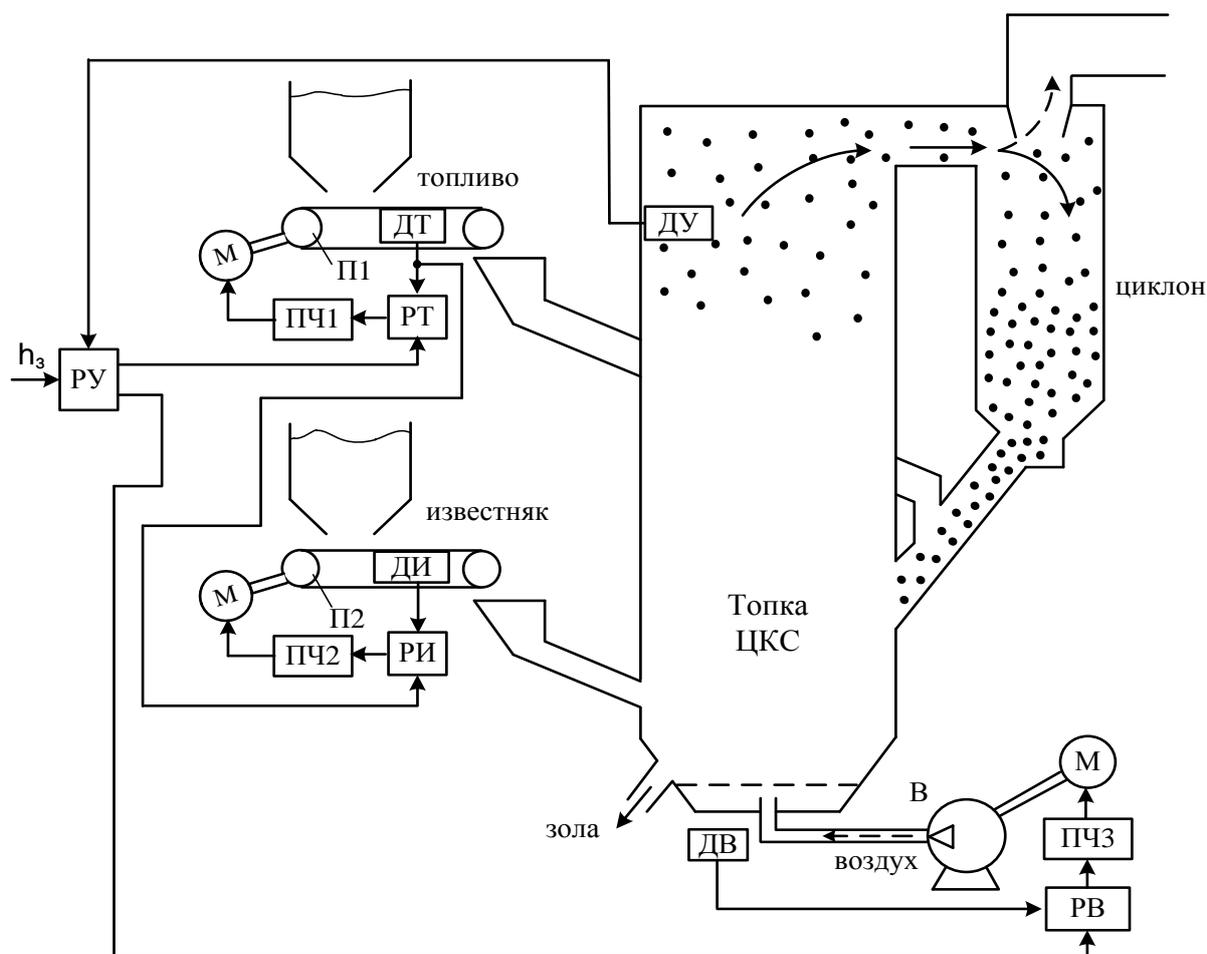


Рисунок 5 – Вариант технической реализации предложенной концепции построения САУ

В докладе выполнен анализ котла с циркулирующим кипящим слоем как объекта автоматизации, на основании которого предложена концепция разработки системы автоматического управления данным объектом. С использованием результатов анализа рассматриваемого объекта было решено использовать принцип обратной связи, как наиболее подходящий для решения поставленной задачи автоматизации. Полученные структурная схема концепции построения САУ и схема применения технических средств для реализации предложенной концепции позволяют выполнить теоретический синтез и техническое проектирование САУ параметрами котла с топкой циркулирующего кипящего слоя.

#### Перечень ссылок

1. Беляев, А. А. Низкотемпературные методы сжигания угля в кипящем слое / А. А. Беляев, М. И. Рогайлин. - Москва : ЦНИЭИуголь, 1986. – 287 с.
2. Вискин, Ж. В. Сжигание угля в кипящем слое и утилизация его отходов. / Ж. В. Вискин, В. И. Шелудченко. – Донецк : Типография “Новый мир”, 1997. – 284 с.
3. Махорин, К. Е. Сжигание топлива в псевдооживленном слое. / К. Е. Махорин, П. А. Хинкис. - Киев : Наукова Думка, 1989 – 204с.
4. Александров, В. Г. Вопросы проектирования паровых котлов средней и малой производительности. / В. Г.Александров. – Москва-Ленинград : Госэнергоиздат, 1990. – 316 с.
5. Сидельковский, Л. Н. Котельные установки промышленных предприятий : Учебник для вузов. / Л. Н. Сидельковский, В. Н. Юренев. - 3-е изд., перераб. - Москва : Энергоатомиздат, 1988. – 345 с.